



ALTERRA

WAGENINGEN UR

Effecten van locatiespecifieke bodemkarakteristieken op de accumulatie van zware metalen in terrestrische voedselketens

Veldgegevens en modelberekeningen

Nico van den Brink
Marie-Claire Boerwinkel
Wim Dimmers
Annemariet van der Hout
Dennis Lammertsma



Alterra-rapport 1639, ISSN 1566-7197



Effecten van locatiespecifieke bodemkarakteristieken op de accumulatie van zware metalen in kleine zoogdieren

Effecten van locatiespecifieke bodemkarakteristieken op de accumulatie van zware metalen in terrestrische voedselketens

Veldgegevens en modelberekeningen

Nico van den Brink

Marie-Claire Boerwinkel

Wim Dimmers

Annemariet van der Hout

Dennis Lammertsma

Alterra-rapport 1639

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Brink, Nico van den, Marie-Claire Boerwinkel, Wim Dimmers, Annemariet van der Hout, Dennis Lammertsma, 2009. *Effecten van locatie-specifieke bodemkarakteristieken op de accumulatie van zware metalen in terrestrische voedselketens. Veldgegevens en modelberekeningen*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1639. 42 blz.; 3 fig.; 16 tab.; 14 ref.

Bodemeigenschappen bepalen (mede) de biobeschikbaarheid van verontreinigingen en daarmee de opname ervan door bodemorganismen en planten. In een eerdere studie was op basis van modellen geconcludeerd dat ook de accumulatie van zware metalen in voedselketens naar terrestrische vertebraten onder invloed staat van de effecten van deze bodemkarakteristieken. In het voorliggende rapport wordt veldwerk beschreven dat uitgevoerd is om de hiervoor genoemde modeluitkomsten te valideren. Op basis van deze veldgegevens, en verdere modelontwikkeling kan worden geconcludeerd dat er een sterke invloed is van de bodemkarakteristieken op de opname van zware metalen door kleine zoogdieren. De risico's van dergelijke verontreinigingen voor hogere organismen als gevolg van voedselweb accumulatie worden daarmee niet alleen bepaald door de totaalgehalten van deze verontreinigingen in de bodem, maar ook door de beschikbaarheid ervan. Op basis hiervan kan worden gesteld dat inrichting en beheersmaatregelen die bodemeigenschappen veranderen, onbedoeld, tot verandering van de risico's van verontreinigingen kunnen leiden. Bij planning en uitvoering van maatregelen in gebieden waar verontreinigingen voorkomen is het aan te bevelen hiermee rekening te houden.

Trefwoorden: accumulatie, bodemeigenschappen, effect gerichte maatregelen, kleine zoogdieren, verontreinigingen, voedselketens, zware metalen

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2009 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Materialen en methodes	13
2.1 Gebieden	13
2.2 Muizenvangst	13
2.3 Wormen	14
2.4 Bodem en gewas	14
2.5 Metaalanalyses	15
2.6 Statistische analyse	15
2.7 Modellen	15
3 Resultaten en discussie	17
3.1 Bodemconcentraties	17
3.2 Concentraties in vegetatie en wormen	18
3.3 Nierconcentraties in de verschillende soorten kleine zoogdieren	21
3.4 Relaties tussen concentraties in de bodem, bodemkarakteristieken en kleine zoogdieren	23
3.5 Modelleerexercitie cadmium accumulatie in bosmuizen	24
3.6 Modelleerexercitie cadmium accumulatie in een predator: steenuil	27
3.6.1 Modeluitkomsten	29
4 Conclusies	33
Literatuur	35
<i>Bijlagen</i>	
1 Resultaten regressie-analyses tussen bodem en bosmuizen	37
2 Bodemkarakteristieken en nierconcentraties in bosmuizen van specifieke transecten	41

Woord vooraf

In het voorliggende rapport wordt veldwerk beschreven uitgevoerd in het kader van het project “Effecten van bodemkarakteristieken op voedselweb accumulatie van verontreinigingen”, uitgevoerd binnen het thema “Abiotische randvoorwaarden” van het cluster “Ecologische Hoofdstructuur” van het BO-onderzoek, gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. In dit project wordt beschouwd of maatregelen ten behoeve van inrichting en beheer van natuurgebieden effect kunnen hebben op risico’s van mogelijk aanwezige verontreinigingen op hogere diersoorten. Als contactpersoon namens LNV, directie Natuur, waren Ruben Post en Bas Volkers betrokken bij het project.

Samenvatting

Inrichting en beheermaatregelen kunnen effect hebben op lokale bodemkarakteristieken als pH en organisch stofgehalte. In een eerder rapport (Van den Brink et al. 2007) zijn relaties gelegd tussen maatregelen en veranderingen van dergelijke bodemkarakteristieken. Een verandering in bodem pH of organisch stofgehalte kan sterke effecten hebben op de beschikbaarheid van bodemverontreinigingen voor opname in vegetatie en bodemorganismen, en vervolgens mogelijk in voedselketens van hogere organismen. Het mogelijke effect van veranderde bodemkarakteristieken op doorvergiftiging van zware metalen in voedselketens is in het eerdere rapport modelmatig geïllustreerd. In het voorliggend rapport wordt op basis van veldwaarnemingen van zware metalen in kleine zoogdieren een validatie gepresenteerd van de voorgaande studie.

Op basis van de huidige studie kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- *Bodemeigenschappen als pH en organisch stofgehaltes kunnen de accumulatie van metalen naar hogere fauna, zowel vogels als zoogdieren, sterk beïnvloeden en daarmee de risico's deze dieren kunnen ondervinden van deze stoffen.*
- *Inrichting en beheersmaatregelen kunnen risico's van verontreinigingen voor hogere organismen beïnvloeden zonder dat de bodemconcentraties van deze verontreinigingen veranderen.*
- *Modellen kunnen, mits voorzien van goede parameters, behulpzaam zijn bij het voorspellen van opname van zware metalen in voedselketens.*

Ad. 1. Bodemeigenschappen als pH en organisch stofgehaltes kunnen de accumulatie van metalen naar hogere fauna sterk beïnvloeden.

Het veldwerk van deze studie is uitgevoerd in uiterwaarden nabij Heteren en op een locatie ten zuiden van Eindhoven, de Plateaux. De bodemconcentraties aan zware metalen verschillen tussen de locaties, evenals de belangrijkste bodemkarakteristieken als pH en organisch stofgehalte. De resultaten van het veldwerk laten duidelijk zien dat de accumulatie van de zware metalen in regenwormen, vegetatie, en verder naar de kleine zoogdieren niet alleen afhankelijk is van de bodemconcentraties aan zware metalen, maar ook sterk afhangt van de lokale bodemkarakteristieken. Wanneer gekeken wordt naar bijvoorbeeld cadmium is het zo dat de concentraties in bosmuizen in de uiterwaarden veel lager zijn dan de bodemconcentraties, terwijl de concentraties in dezelfde soort in de Plateaux veel hoger zijn dan die in de bodem. Dit kan worden verklaard door de lage pH in de bodem van de Plateaux, die ervoor zorgt dat het cadmium beschikbaar is voor accumulatie in de voedselketen van de bosmuis. De pH van bodem in de uiterwaarden is hoog, wat de opname van cadmium in de voedselketen limiteert. Dit is een helder voorbeeld van de effecten van bodemkarakteristieken op de risico's die hogere organismen, als vogels en zoogdieren, ondervinden van bodemverontreinigingen.

Ad.2. Inrichting en beheersmaatregelen kunnen risico's van verontreinigingen voor hogere organismen beïnvloeden zonder dat de bodemconcentraties van deze verontreinigingen veranderen.

Inrichting- en beheersmaatregelen kunnen een groot effect hebben op bodemeigenschappen als pH en organisch stofgehalte. Op deze manier kan de beschikbaarheid van metalen, en de daarmee samenhangende risico's, voor hogere organismen beïnvloed worden door dergelijke maatregelen. Het is daarmee zeer aannemelijk dat beheerders van natuurgebieden (ongewild) de risico's van eventuele verontreinigingen in het gebied voor hogere organismen

Ad.3. Modellen kunnen, mits voorzien van goed parameters, behulpzaam zijn bij het voorspellen van opname van zware metalen in voedselketens.

Met de gepresenteerde accumulatiemodellen zijn de verschillen in concentratie in de nieren van bosmuis tussen de twee gebieden goed verklaarbaar op basis van bodemconcentraties, bodemkarakteristieken, en dieetsamenstelling.

Modelberekeningen van het voedselweb van de steenuil laten zien dat de resultaten van de modellering van de cadmiumconcentraties in gewas in dezelfde grootteorde liggen als de metingen. De modelberekeningen van de metaalconcentraties in de regenwormen zijn ook vergelijkbaar met hetgeen gemeten wordt. De verschillen tussen de gebieden in de gemodelleerde resultaten zijn ook in de gemeten waarden waarneembaar voor cadmium, lood en zink, maar in mindere mate voor koper. De gemeten concentraties in de nieren van rosse woelmuizen uit Heteren zijn hoger dan de gemodelleerde waarden. Mogelijk dat rosse woelmuizen minder vegetarisch zijn dan gedacht, en toch een klein deel aan wormen of andere insecten eten die hogere concentraties bevatten. De gemodelleerde concentraties cadmium in nieren van jonge uilen op basis van de gegevens in Heteren, zijn vergelijkbaar met gemeten waarden in een jonge uil uit een uiterwaard in de Gelderse Poort, bij de Waal. Wanneer de concentraties in nieren van adulte vogels worden gemodelleerd zijn de risico's hoog voor vogels van De Plateaux, hier overschrijden de gemodelleerde concentraties alle afgeleide effectgrenzen. In Heteren is dit niet het geval. De verschillen in pH tussen de gebieden heeft hierop het grootste effect heeft, daarna de verschillen in bodemconcentraties en in zeer minieme mate het verschil in OS.

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat bodemkarakteristieken als pH en organisch stofgehalte van groot belang zijn voor de accumulatie van cadmium in terrestrische voedselketens. Voor andere metalen en verontreinigingen zullen dit mogelijk andere karakteristieken zijn, bijvoorbeeld het organisch stofgehalte voor organische microverontreinigingen. Het is daarmee van belang factoren die de beschikbaarheid van verontreinigingen voor opname in voedselketens bepalen mee te nemen in het schatten van risico's van deze verontreinigingen. Dit is met name van toepassing in geval van locatiespecifieke risico's waarbij op een zo reëel mogelijk beeld de risico's geschat dienen te worden.

De hier aangetoonde effecten zijn gebaseerd op verschillen in bodemkarakteristieken op basis van bodemtype, klei versus zanderige veenbodem. Inrichting en beheer van gebieden kunnen echter ook effecten hebben op bodemkarakteristieken (Van den Brink et al 2007), en de beschikbaarheid van verontreinigingen. In een vervolgstudie zal op basis van veldwaarnemingen getracht worden in te schatten wat de mogelijke effecten zijn van lokale inrichting en beheersmaatregelen op de risico's van verontreinigingen voor hogere organismen, met name zware metalen.

1 Inleiding

In Nederland zijn grote veranderingen gaande in het ruimtegebruik, landbouwgebieden worden omgezet in natuur, terwijl andere gebieden juist intensiever worden gebruikt. Deze veranderingen kunnen als gevolg hebben dat de bodemsamenstelling verandert, zowel voor wat betreft bodemtype als de bodemkarakteristieken. In een eerder rapport (Van den Brink et al. 2007) is geïllustreerd dat bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden verschillende bodemeigenschappen kunnen veranderen, met name pH en organisch stofgehalte. Op deze landbouwgronden zijn de concentraties aan zware metalen vaak wat verhoogd door het langdurig gebruik van kunstmest. In het eerder gemelde rapport is op basis van modelstudies berekend dat veranderingen in landgebruik op deze voormalige landbouwgebieden kan resulteren in verhoging van risico's voor organismen als gevolg van een verandering in biobeschikbaarheid van zware metalen, gekoppeld aan bodemkarakteristieken. In dat rapport is geconcludeerd dat er relaties zijn tussen maatregelen die genomen worden in terreinbeheer en bodemcondities, en dat daarmee maatregelen effect kunnen hebben op de risico's die hogere organismen ondervinden van blootstelling aan zware metalen. Ook werd geconcludeerd dat er verdere veldwaarnemingen nodig zijn om dit te valideren.

Op basis van voorgaande conclusies is veldwerk uitgevoerd wat in het voorliggend rapport wordt beschreven. In dit onderzoek worden concentraties van zware metalen in kleine zoogdieren gekoppeld aan concentraties in de bodem, en bodemcondities. Daarnaast zijn concentraties in diëtitens bepaald. Het veldwerk is op twee locaties uitgevoerd, De Plateaux in de Kempen, en in uiterwaarden van de Neder-Rijn nabij Heteren. Op beide locaties zijn de bodemconcentraties van enkele zware metalen enigszins verhoogd. Op deze locaties zijn verschillende bodemtypen aanwezig, met de daarmee samenhangende bodemkarakteristieken als pH en organisch stofgehalte. De veldwaarnemingen worden gebruikt om de effecten van verschillen in bodemkarakteristieken op de opname van zware metalen door kleine zoogdieren empirisch vast te stellen en ook om doorvergiftigingmodellen te valideren.

2 Materialen en methodes

2.1 Gebieden

Het onderzoek is in twee gebieden uitgevoerd, één in de uiterwaarden van de Neder-Rijn nabij Heteren (in het vervolg Heteren), en één in een gebied in de Brabantse Kempen onder Veldhoven, genaamd De Plateaux (in het vervolg Plateaux).

Heteren

Heteren is een uiterwaard van de Neder-Rijn in de buurt van Heteren en Randwijk, die regelmatig overspoeld is. Het overspoelende water heeft vervuild sediment afgezet in de uiterwaard, waardoor hier verhoogde bodemconcentraties aan metalen en organische microverontreinigingen te vinden zijn. De uiterwaard bestaat uit grasland met maïsackers, heggen van meidoorn en wilgen en solitaire bomen. De kleine zoogdieren zijn verzameld in het kader van een ander project dat is gericht op de ontwikkeling van ruimtelijk risicobeoordelingen (BERISP, www.berisp.org), maar de nieren zijn voor dit project beschikbaar gesteld. Verder zijn aanvullende monsters van gewas en bodem geanalyseerd. In de uiterwaard zijn op transecten kleine zoogdieren gevangen, en per transect zijn ook gewas en bodem verzameld.

De Plateaux

De Plateaux ligt op de overgang van drogere zandgronden van het Kempen plateau naar de vochtige gronden in het dal van de Dommel. In dit gebied is de bodem verontreinigd met zware metalen als gevolg van de historische atmosferische uitstoot van de zinkfabriek nabij Budel. De Plateaux is een natuurgebied aan de grens met België onder Valkenswaard. Het hier beschreven onderzoek is uitgevoerd op vloeivelden binnen het gebied die bevoeid worden met Maaswater. Andere delen van het gebied zijn niet bevoeid. De bodem in de bevoeide gebieden is meestal wat minder zuur, doordat met het maaswater ook kalk is aangevoerd, wat ervoor zorgt dat de bodem pH stijgt. Dit resulteert in sterke gradiënten in de bodemkarakteristieken binnen het gebied, wat het zeer geschikt maakt om de effecten van deze karakteristieken op doorvergiftiging te onderzoeken. Het gebied bestaat vooral uit extensief beheerd grasland met enkele bomen. De meeste muizenvallen zijn in de wat meer verruigde delen van het gebied geplaatst omdat deze dekking hebben voor de kleine zoogdieren. In en rond De Plateaux zijn 7 deelgebiedjes bezocht waar bodem, vegetatie, wormen en kleine zoogdieren zijn verzameld.

2.2 Muizenvangst

Kleine zoogdieren zijn in de twee gebieden gevangen met behulp van Longworth lifetraps. Hierin worden de dieren levend gevangen waarna ze worden opgeofferd. De vallen zijn gevuld met pindakaas en kattenvoer als lokmiddel, en stro en hooi als bedding. De vallen worden een uur voor zonsondergang op scherp gezet, waarna ze

iedere twee uur gecheckt zijn. De volgende soorten zijn in het project gebruikt: bosmuis (*Apodemus sylvaticus*), bosspitsmuis (*Sorex araneus*), huisspitsmuis (*Crocidura russula*), rosse woelmuis (*Clethrionomys glareolus*), en de veldmuis (*Microtus arvalis*).

Er is niet gekozen voor klapvallen of iets dergelijks, waarin de dieren direct doodgaan omdat hiermee het doden van de dieren erg ongecontroleerd gebeurt, en dieren die niet nodig zijn in het onderzoek (bijvangst) ook gedood zouden worden. In de huidige aanpak kan de bijvangst direct worden losgelaten. Om de dieren te doden zijn ze in een plastic zak gedaan, waarin langzaam CO₂ is geleid. Op deze manier zijn de meeste dieren binnen 10 seconden dood. De handelingen zijn volgens wettelijk goedgekeurde DEC-protocollen uitgevoerd.

De dieren uit de uiterwaarden in Heteren zijn in de periode 19 tot 28 september 2006 gevangen, terwijl de dieren uit het gebied De Plateaux in de periode 2 tot 26 oktober 2006 zijn gevangen. In De Plateaux zijn in totaal 59 dieren gevangen, in Heteren 35. Zie tabel 1 voor de verdeling over de soorten en de geslachten.

Tabel 1. Soorten, geslacht en aantallen kleine zoogdieren die per gebied zijn gevangen

Soort	Geslacht	Plateaux	Heteren
Bosmuis	v	13	5
	m	18	9
Bosspitsmuis	v	1	1
	m	2	3
Huisspitsmuis	v	0	3
	m	0	2
Rosse Woelmuis	v	17	0
	m	8	0
Veldmuis	v	0	9
	m	0	3
Totaal		59	35

2.3 Wormen

Wormen zijn in beide gebieden met de hand verzameld. Plaggen zijn uitgestoken tot 20 cm diepte en hier zijn *Lumbricus rubellus* en *Allolobophora caliginosa* in verzameld. Alleen het adulte stadium is in analyse genomen. Van alleen *L. rubellus* zijn voldoende monsters verzameld in alle deelgebieden in de resultaten zullen alleen gegevens van deze soort besproken worden. De wormen zijn voor analyse twee dagen gehongerd en vervolgens ingevroren.

2.4 Bodem en gewas

Voor analyses in de bodem zijn monsters verzameld uit de plaggen die gebruikt zijn voor het uitzoeken van de wormen. De bodem is verzameld van de bovenste 20 cm, de zichtbare organische delen (wortels etc.) zijn uit het monster verwijderd. De bodem is vers ingevroren voordat de analyses zijn uitgevoerd. In de deelgebieden zijn

de meest abundante plantensoorten bemonsterd. Hiertoe zijn scheuten met een schaarje afgeknipt en ingevroren voordat ze geanalyseerd zijn. Data van de monocotyle grassen zijn gebruikt in dit rapport.

2.5 Metaanalyses

In dit onderzoek zijn monsters van bodem, gewas, wormen en nier van kleine zoogdieren geanalyseerd op een aantal zware metalen. Hier zullen concentraties van de volgende metalen besproken worden: arseen (As), cadmium (Cd), koper (Cu), chroom (Chr), nikkel (Ni), lood (Pb) en zink (Zn). De analyses zijn uitgevoerd op het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem van de WUR volgens aanwezige standaard voorschriften. In het kort zijn de analyses als volgt uitgevoerd.

Alle monsters zijn voor aanvang van de analyses gevriesdroogd. De analyses zijn uitgevoerd aan luchtdroge monsters. Dierlijke monsters zijn gedestruueerd met koningswater (mengsel van salpeterzuur en zoutzuur) in een magnetron om de metalen te ontsluiten. Het destruaat kan daarna direct gemeten worden met behulp van ICP-MS of ICP-AES. Bodemonsters zijn vergelijkbaar voorbehandeld als de dierlijke monsters. Gewas monsters zijn eerst gedestruueerd met waterstoffluoride bij kamertemperatuur om het silicaskalet van het plantenweefsel af te breken. Daarna zijn de monsters verder gedestruueerd met koningswater in een magnetron om de matrix verder te ontsluiten. De metalen kunnen na deze behandeling direct gemeten worden met ICP-MS of ICP AES.

De metalen zijn volgens standaardprotocollen geanalyseerd met ICP-AES, maar als de gehalten onder de detectielimiet waren is een nadere analyse met de gevoeligere ICP-MS uitgevoerd.

2.6 Statistische analyse

Relaties tussen verschillende parameters zijn geanalyseerd met regressie analyses, hiervoor is het pakket Genstat versie 9.2 gebruikt (www.genstat.co.uk). Verschillen tussen gebieden zijn geanalyseerd met ANOVA's. Voor aanvang van de ANOVA zijn de data log-getransformeerd om een normale verdeling van de data te verkrijgen. Bij beide analysemethodes is een alfa van 0.05 als significantie niveau aangenomen.

2.7 Modellen

In dit rapport zullen de velddata gebruikt worden om eerder geformuleerde modellen te valideren (Van den Brink et al. 2007). Dit model gaat uit van voedselweb relaties waarlangs de verontreinigingen accumuleren tot in de kleine zoogdieren. In dit model kan gerekend worden met soortspecifieke eigenschappen als dieet, leeftijd etc. Daarnaast is mogelijk om de bodemeigenschappen als pH en OS mee te nemen in de modellering. Het model bestaat uit verschillende vergelijkingen die de transfer van

verontreinigingen naar wormen en planten beschrijven op basis van regressiemodellen met stof en soortspecifieke regressiecoëfficiënten. De vergelijkingen zullen in hoofdstuk 3 per soort specifiek behandeld worden. De accumulatie van de verontreinigingen van dieet naar de kleine zoogdieren wordt gemodelleerd op basis van de TDI (Totale Dagelijkse Inname). Van ieder belangrijk dieetcomponent wordt geschat wat het dagelijkse aandeel is en dit wordt vermenigvuldigd met de concentratie in dat dieetitem. Alle items worden gesommeerd en dan kan de TDI worden berekend. In hoofdstuk 3 wordt de toepassing van het model in het kader van dit rapport specifiek behandeld. Voor meer informatie zie Van den Brink et al. 2007.

3 Resultaten en discussie

In de komende paragrafen zal voor bodem, gewas wormen en nier van kleine zoogdieren een overzicht gegeven worden van de concentraties van de zware metalen. Daarnaast zullen onderlinge relaties besproken worden, en zal een vergelijking gegeven worden tussen de gemeten en gemodelleerde concentraties.

3.1 Bodemconcentraties

In tabel 2 staan de analyse resultaten van de bodemmonsters van de verschillende gebieden. Het is duidelijk dat de bodems verschillen in karakteristieken, zowel de pH als het organisch stofgehalte zijn significant lager in De Plateaux in vergelijking met Heteren. Voor wat betreft de metalen zijn de concentraties Cd wat lager in Heteren, terwijl de concentraties van Cr, Cu, en Ni daar hoger zijn. De concentraties AS, Pb en Zn verschillen niet significant tussen de gebieden. De concentraties van de metalen in de bodem van De Plateaux zijn variabelere dan die in Heteren wanneer ze worden uitgedrukt als (Maximum waarde – minimum waarde)/geometrisch gemiddeld.

De concentraties in Heteren zijn over het algemeen in dezelfde range als in de bodem van Maasuitwaarden, alleen de Ni concentraties zijn wat lager (Boudewijn et al. 2003). De concentraties Cd, Cr, Cu, Ni, Pb en Zn zijn lager dan die in uiterwaarden van de Biesbosch gevonden worden (Bosveld et al. 2003). In vergelijking tot een eerder onderzoek in de Gelderse Poort (Van den Brink et al. 2003) zijn de concentraties Cr, Pb en Zn in Heteren lager, terwijl de concentraties van Cd, Cu, en Ni in dezelfde range liggen. De concentraties Pb, Zn en Cd in De Plateaux zijn vergelijkbaar met de Gelderse Poort, terwijl Cr, Ni en Cu iets lagere concentraties laten zien. Dit alles duidt erop dat de twee locaties van deze studie vergelijkbaar zijn met matig verontreinigde locaties in de uiterwaarden van Maas en Waal, maar lager dan in de zwaarder verontreinigde uiterwaarden van de Biesbosch.

Tabel 2. Bodemkarakteristieken en –concentraties in Heteren en De Plateaux (de Kempen) (geometrisch gemiddelde en range, op basis van droge stof) met significantie van het verschil tussen de gebieden (ANOVA, data metalen log-getransformeerd).

	pH	OS %	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Heteren (n=4)	7.1 (7.1-7.2)	8.6 (7.8-9.5)	12.54 (11.40-13.90)	1.23 (1.02-1.66)	54.6 (45.8-68.4)	32.5 (26.8-41.0)	29.6 (28.6-31.6)	57.9 (51.5-73.4)	207 (176-273)
Plateaux (n=29)	4.6 (4.0-5.7)	4.5 (3.9-6.1)	13.52 (4.82-51.74)	2.23 (1.00-4.58)	10.8 (7.6-18.1)	13.6 (8.9-25.7)	4.4 (2.7-9.9)	61.9 (30.7-146.9)	154 (53-470)
Significantie	< 0.001	< 0.001	> 0.05	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	> 0.05	> 0.05

3.2 Concentraties in vegetatie en wormen

Vegetatie

In tabel 3 staan de geometrische gemiddelden van de concentraties van de verschillende metalen in verschillende vegetatietypen uit de uiterwaard van Heteren en van De Plateaux. In tabel 4 staan de significanties van de verschillen tussen de gebieden voor die vegetatietypen waarvan voldoende monsters voorhanden waren, brandnetel, grassen, en kruidachtige die niet tot de andere groepen behoren. Hierbij valt op dat de Cd concentraties hoger zijn in alle vegetatietypen van De Plateaux (tabel 3 en 4), echter dit verschil is veel groter dan de verschillen in de bodemconcentraties tussen de gebieden (tabel 2). De koperconcentraties in de brandnetels zijn hoger in planten van Heteren, in ongeveer vergelijkbare ratio als de bodemconcentraties, terwijl voor Ni, Pb, en Zn de concentraties in de brandnetels van De Plateaux hoger zijn, terwijl de bodemconcentraties in de bodem van Heteren hoger zijn voor Ni, en niet verschillen in geval van Pb en Zn. Het lijkt er daarmee op dat de bodemconcentraties niet alleen bepalend zijn voor de accumulatie van de verschillende metalen in de brandnetels. Hetzelfde geldt voor grassen en kruiden, waarbij de verschillen in vegetatie concentraties tussen de gebieden ook niet altijd verklaard kunnen worden uit de verschillen in bodemconcentraties.

Tabel 3. Concentraties zware metalen (op basis van droge stof) in monsters van verschillend soorten vegetatie van De Plateaux en Heteren (geometrisch gemiddelde, n.a.: niet geanalyseerd).

Plant	Gebied	aantal monsters	As µg/kg	Cd µg/kg	Co µg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni µg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Brandnetel	Heteren	4	n.a.	32	n.a.	0.7	10.3	507	0.24	41
Grassen	Heteren	4	n.a.	47	n.a.	3.0	6.7	2214	0.83	39
Kruiden	Heteren	4	n.a.	96	n.a.	1.3	7.5	926	0.85	45
Brandnetel	Plateaux	7	128	247	172	2.0	5.3	653	1.34	154
Grassen	Plateaux	8	94	415	57	2.0	6.0	987	1.37	96
Kruiden	Plateaux	7	104	1782	185	1.7	8.6	1203	1.75	231
Bessen	Plateaux	2	34	109	39	1.6	4.5	373	0.44	32
Boterbloem	Plateaux	2	91	842	88	2.5	9.7	1134	1.36	206
Duizendblad	Plateaux	1	11	7707	116	3.6	19.5	1829	1.55	897
Eikel	Plateaux	2	8	21	28	1.7	3.3	223	0.06	7
Mos	Plateaux	1	102	977	114	5.0	9.8	867	2.93	86
Muur	Plateaux	1	124	3203	136	1.9	5.2	898	2.20	321
Riet	Plateaux	1	100	48	15	2.7	7.1	962	0.32	42
Wilg	Plateaux	1	7	3728	414	1.6	5.7	2542	0.61	383
Graszaad	Plateaux	5	59	154	79	10.0	8.0	2290	0.56	61

Tabel 4. Significantie van verschillen in metaalconcentraties tussen gebieden in verschillende vegetatietypen (ANOVA, data log-getransformeerd, voor details data zie tabel 3).

Vegetatie	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Brandnetel	0.003	0.006	< 0.001	0.06	< 0.001	< 0.001
Grassen	< 0.001	0.24	0.51	0.002	0.29	0.015
Kruiden	< 0.001	0.23	0.50	0.43	< 0.001	< 0.001

Door Römken et al. 2006 zijn regressie modellen afgeleid waarbij naast de bodemconcentraties ook de pH, het organische stof gehalte [OS] en het kleipercentage als variabelen gebruikt worden om de concentraties in de vegetatie te verklaren.

$$\log[ZM]_{plant} = a + b * \log[ZM]_{bodem} + c * pH + d * \log[OS] + e * \log[klei] \quad \text{vgl. 1.}$$

waarbij

[OS] : fractie organisch stof in de bodem (%)

[Klei] : fractie kleiner dan 2 µm (%).

In tabel 5 staan metaal specifieke parameters om met behulp van vgl. 1 de concentraties in gras te kunnen berekenen. Voor enkele andere gewassen zijn specifieke parameters sets voorhanden (Van Wezel et al. 2003).

Tabel 5. Metaal specifieke parameters voor het regressiemodel van vgl. 1.

Metaal	a	b	c	d	e	r ²
Cd	0.17	0.49	-0.12	-0.28		0.53
Pb	-	-	-	-	-	-
Cu	1.4	0.83	-0.18	-0.65	-	0.37
Zn	2.06	0.41	-0.09	1.09	-1.05	0.49

Bron: Van Wezel et al. 2003

Wanneer dit model met de juiste parameters gebruikt wordt (zie tabel 5 voor de metaal specifieke parameters) dan wordt voor Heteren een grasconcentratie van 0.13 mg/kg berekend, en voor De Plateaux 0.40 mg/kg. De gemeten waarden zijn respectievelijk 0.05 en 0.41 mg/kg. Voor zink liggen de gemeten en gemodelleerde waarden per gebied in een zelfde range, het verschil tussen de gebieden komt goed tot uiting (tabel 6). Voor koper is de modeluitkomst in De Plateaux aan de hoge kant. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de volgende kleifracties zijn aangenomen: 45% in Heteren en 15% in De Plateaux (Kemmers & van Delft. 2003). Deze aanname heeft echte wel invloed op de Zn-concentraties, en het is daarmee mogelijk dat wanneer echte metingen voorhanden zijn de modeluitkomsten veranderen.

Tabel 6. Gemeten en gemodelleerde concentraties in gras uit Heteren en De Plateaux. Modeleren is uitgevoerd op basis van vgl. 1 en de parameters uit tabel 5, met bodemkarakteristieken uit tabel 2. In geval van zink is voor Heteren een kleipercentage van 45% aangenomen, voor De Plateaux 15%

mg/kg d.s.	Heteren		De Plateaux	
	Gemeten	Model	Gemeten	Model
Cd	0.05	0.13	0.41	0.40
Cu	6.7	5.8	6.0	12.3
Zn	39	45	96	105

De gemodelleerde metaal concentratie in het gras van De Plateaux en Heteren lijken in de goede range te worden gemodelleerd, al zijn er wel verschillen tussen modeluitkomst en meting waarneembaar. Echter, voor Cd en Zn lijken de trends goed voorspelbaar te zijn, voor Cu is dit minder het geval. Voor Cu is de relatie

tussen bodem en gras niet goed voorspellend (lagere r^2 , zie tabel 5), wat de discrepantie kan verklaren. Daarnaast is het aantal waarnemingen per locatie laag.

Wormen

De wormenconcentraties van de verschillende metalen verschillen significant tussen de gebieden, al is de mate waarin ze verschillen metaal specifiek (tabel 7). De concentraties As, Cr, Cu en Ni zijn significant hoger in wormen uit de uiterwaarden van Heteren, terwijl de concentraties van Cd, Pb en Zn hoger zijn in de wormen van De Plateaux.

Tabel 7. Wormenconcentraties (*L.rubellus*) in Heteren en De Plateaux (geometrisch gemiddelde, op basis van droge stof) met significantie van het verschil tussen de gebieden (ANOVA, data log-getransformeerd).

Gebied	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Heteren	6.89	14.7	3.30	16.6	2.60	3.48	523
Plateaux	2.80	46.7	2.26	9.9	0.63	13.46	922
Significantie	0.04	< 0.001	0.009	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.003

De bodemconcentraties alleen voorspellen de verschillen in wormen concentraties slecht. In geval van Cd bijvoorbeeld waren de bodem concentraties maar iets hoger in De Plateaux, terwijl de wormen concentraties in de Plateaux een factor 3 hoger zijn. De bodemconcentraties van lood verschillen niet tussen de gebieden, terwijl de wormenconcentraties significant hoger zijn in de Plateaux. Voor wormen zijn ook regressie vergelijkingen afgeleid, waarin bodemkarakteristieken meegenomen worden als verklarende variabelen voor de accumulatie van metalen in wormen (vgl. 2, Ma 2004).

$$\log[ZM]_w = a + b * \log[ZM]_s + c * pH + d * \log[OM] + e * \text{endogenisch} + f * \text{epigenisch} \quad \text{vgl. 2.} \\ \text{(Ma, 2004)}$$

Endogenisch: factor is 1 in geval van een diepgravende wormensoort

Epigenisch: factor is 1 in geval van een wormensoort die in de strooisellaag leeft.

Ook hier zijn metaalspecifieke parameters voorhanden die gebruikt kunnen worden om metaal specifieke opname in wormen te modelleren (tabel 8).

Tabel 8. Metaal specifieke parameters voor vergelijking 2 (Ma 2004).

Metaal	a	b	c	d	e	f	R2
Cd	2.920	0.747	-0.210	-0.534	0.156		78.3
Pb	2.850	0.843	-0.461	-0.347	0.295		61.7
Zn	2.800	0.224	-0.064		0.130		33.5
Cu	0.936	0.499	-0.061	-0.311	0.191	0.275	45.6

Wanneer voor de verschillende metalen de wormenconcentraties in de twee gebieden worden gemodelleerd blijkt dat de verschillen tussen de gebieden voor Cd, Pb en Zn goed gemodelleerd kunnen worden, al zijn de ratio's tussen de gemeten concentraties in de twee gebieden wat anders dan de ratio's voor de gemodelleerde (tabel 9). Voor wat betreft Cu is het gemeten verschil tussen de gebieden niet zichtbaar in de gemodelleerde wormenconcentraties. Een deel van dit probleem kan liggen aan het

feit dat hier gewerkt is met geometrische gemiddelden van de bodemconcentraties, en niet met arithmisch gemiddelden. Dit resulteert mogelijk in wat afwijkende resultaten. Feit blijft dat de concentraties in de goede grootteorde worden gemodelleerd, en dat over het algemeen de verschillen in wormconcentraties tussen de gebieden beter voorspelbaar zijn met behulp van modellen waarin bodemkarakteristieken meegenomen worden dan op basis van de bodemconcentraties alleen.

Tabel 9. Gemeten en gemodelleerde concentraties metalen in wormen van verschillende gebieden op basis van vgl.2, de metaal specifieke parameters van tabel 7, en de bodemconcentraties en -karakteristieken van tabel 2.

	Cd		Cu		Pb		Zn	
	Gemeten	Model	Gemeten	Model	Gemeten	Model	Gemeten	Model
Heteren	14.7	9.8	16.6	9.3	3.48	2	523	732
Plateaux	46.7	73	10.4	10.4	13.46	46	922	990

3.3 Nierconcentraties in de verschillende soorten kleine zoogdieren

In tabel 10 staan de concentraties in de verschillende soorten per gebied weergegeven. Er konden geen verschil in leeftijden van de kleine zoogdieren tussen de gebieden aangetoond worden. Leeftijdsafhankelijk opbouw van concentraties bleken niet significant te zijn (tabel 11), bij de verdere bespreking van de gegevens zal hier geen aandacht aan gegeven worden. Verschillen tussen geslachten waren ook niet significant (tabel 11) en zullen ook buiten beschouwing gelaten worden.

De aantallen per gebied verschillen tussen de soorten, alleen in geval van de bosmuis zijn de aantallen groot genoeg om een verdere statistische analyse uit te kunnen voeren. De verdere bespreking van relaties tussen matrices en verschillen tussen gebieden zal daarom gebeuren op basis van deze soort. De verschillen tussen soorten zijn echter ook interessant. In geval van As lijken de verschillen tussen de gebieden groter dan die tussen de soorten. In Heteren is de range van alle soorten 0.05-4.4, terwijl dit in De Plateaux 0.05-33.0 was. De ondergrens lijkt daarmee vergelijkbaar, maar in De Plateaux zijn hogere concentraties gevonden.

In geval van Cd zijn de verschillen tussen de gebieden ook aanzienlijk, maar zijn er ook duidelijke verschillen tussen de soorten. Opvallend is dat soorten die omnivoor of zelfs herbivoor lijken te zijn (bosmuis en woelmuis) in De Plateaux vergelijkbare concentraties aan Cd laten zien als de insectivore bosspitsmuis. In Heteren zijn de verschillen tussen de bosmuis en de bosspitsmuis wel significant (0.18 versus 30.7 mg/kg). Een verklaring voor deze gebiedsverschillen kan zijn dat de diëten verschillen tussen de gebieden.

Voor Cr en Cu zijn de verschillen tussen de gebieden ook groter dan tussen de soorten. Ook hier valt echter op dat de bosmuis redelijk hoge concentraties laat zien in verhouding met bijvoorbeeld de bosspitsmuis.

De concentraties Ni variëren sterk, en lijken het hoogst in de bosmuis en de woelmuis. De ranges zijn echter groot en er zijn daarmee geen duidelijke patronen zien. Ook de Pb concentraties laten geen duidelijk patroon zien tussen soorten en de

gebieden. Opvallend zijn de relatief hoge concentraties in de bosspitsmuizen uit Heteren, en de bosmuis laat over het algemeen ook hogere concentraties zien.

Verschillen tussen de gebieden zijn zoals eerder aangegeven alleen geanalyseerd voor die soorten waarvan genoeg gevangen zijn in beide gebieden. Dit is met name het geval voor de bosmuis (n=9 in Heteren, n=16 in De Plateaux), en in mindere mate voor de bosspitsmuis (n=3 in Heteren, n=2 in De Plateaux). Voor beide zijn de verschillen tussen de gebieden geanalyseerd (tabel 10), echter hier zullen met name de verschillen in geval van de bosmuis besproken worden omdat daar het aantal waarnemingen hoger is en daarmee de 'power' van de analyse om verschillen daadwerkelijk aan te tonen.

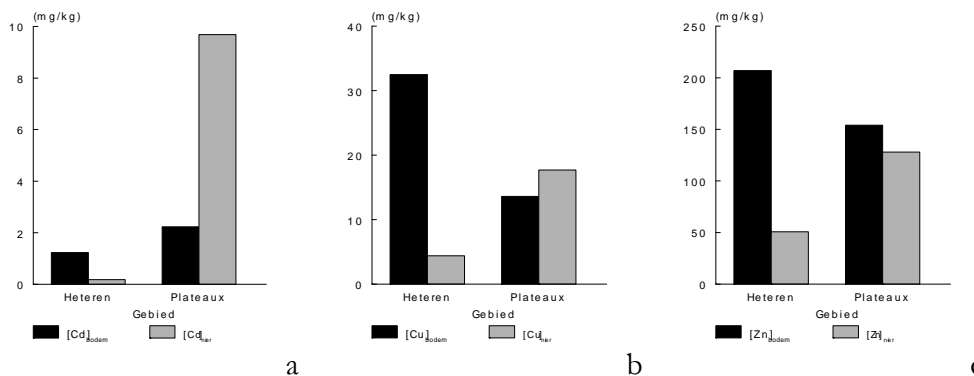
Verschillen tussen de gebieden zijn significant voor As, Cd, Cr en Cu, al is dit voor het laatste metaal marginaal significant (tabel 10). In alle gevallen zijn de concentraties in de nieren van de bosmuizen van De Plateaux hoger dan die in de dieren van Heteren. Wanneer gekeken naar de bosspitsmuizen zijn de patronen vergelijkbaar, al zijn de verschillen bij de bosspitsmuis niet altijd significant bij gebrek aan voldoende monsters.

Tabel 10. Concentraties zware metalen in nieren van verschillend soorten kleine zoogdieren in Heteren en De Plateaux (geometrisch gemiddelde en range, op basis van droge stof), met significantie van het verschil tussen de gebieden (ANOVA, data log-getransformeerd).

Soort	Gebied	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Bosmuis	Heteren (n=9)	0.58 (0.05-4.38)	0.18 (0.06-1.81)	1.76 (0.03-106)	4.4 (0.1-364.0)	0.66 (0.01-97.7)	1.62 (0.06-22.0)	50.7 (0.07-625)
	Plateaux (n=16)	2.27 (0.05-30.6)	7.85 (0.82-86.6)	6.1 (0.3-16.4)	17.7 (12.7-26.2)	0.79 (0.01-5.13)	2.14 (0.51-15.4)	128 (52.4-941)
	Significantie	0.01	< 0.001	0.07	0.04	> 0.05	> 0.05	> 0.05
Bosspits- muis	Heteren (n=3)	0.17 (0.05-1.85)	30.7 (28.0-34.1)	0.09 (0.03-0.72)	3.4 (0.05-28.6)	0.01 (0.01-0.01)	28.3 (7.3-87.4)	6.3 (0.07-66.8)
	Plateaux (n=2)	1.05 (0.05-22.1)	7.0 (2.5-19.6)	4.8 (3.2-7.3)	15.8 (12.9-19.4)	0.09 (0.01-0.94)	0.52 (0.01-45.0)	577 (n=1)
	Significantie	> 0.05	>0.05	0.06	> 0.05	> 0.05	>0.05	> 0.05
Huispits- muis	Heteren (n=2)	0.41 (0.05-3.33)	16.4 (12.1-22.3)	0.27 (0.03-2.5)	0.91 (0.05-16.5)	0.14 (0.01-2.26)	0.65 (0.06-6.96)	17.3 (2.4-125)
	Plateaux (n=0)	-	-	-	-	-	-	-
	Significantie	n.a.	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Rosse woelmuis	Heteren (n=0)	-	-	-	-	-	-	-
	Plateaux (n=20)	6.43 (0.05-33.0)	12.9 (1.7-74.7)	5.8 (2.7-14.0)	18.3 (14.1-29.8)	0.56 (0.01-4.79)	1.37 (0.01-12.0)	128 (33.9-871)
	Significantie	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
Veldmuis	Heteren (n=11)	0.54 (0.05-2.78)	0.27 (0.06-1.71)	0.44 (0.03-47.1)	3.66 (0.05-24.6)	0.04 (0.01-8.92)	0.13 (0.06-4.26)	30.0 (0.07-104)
	Plateaux (n=0)	-	-	-	-	-	-	-
	Significantie	n.a.	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a

3.4 Relaties tussen concentraties in de bodem, bodemkarakteristieken en kleine zoogdieren

In figuur 1 staan de concentraties van Cd, Cu en Zn in bodem en in nieren van bosmuizen in de twee gebieden, dit is de enige soort met voldoende waarnemingen in beide gebieden om een dergelijke vergelijking te kunnen doen. Hier is duidelijk te zien dat de concentraties in de nieren niet hetzelfde patroon laten zien als die in de bodem. In de bosmuizen van De Plateaux zijn de Cd-concentraties ongeveer 4.3 keer zo hoog als in de bodem, terwijl de nierconcentraties in Hereren maar 15 % zijn van die in de bodem, dus ongeveer 6 keer zo laag. Een vergelijkbaar patroon is aantoonbaar voor zowel Cu als Zn, zware metalen waarvan de interne concentraties min of meer gereguleerd zijn in het lichaam. Voor arseen en chroom zijn de patronen vergelijkbaar, echter voor nikkel zijn de concentraties in de nieren van de bosmuizen uit de uiterwaarden relatief hoger, terwijl voor lood geen verschillen lijken te bestaan in de accumulatiepatronen tussen de gebieden (tabellen 2 en 10).



Figuur 1. Concentraties cadmium (a), koper (b) en zink (c) in bodem (zwarte kolom) en bosmuizen (grijze kolom) van Heteren en De Plateaux (de Kempen) (geometrisch gemiddelde, voor aantallen waarnemingen en ranges van concentraties zie tabel 2 en 10)

De resultaten in figuur 1 illustreren helder dat accumulatiepatronen sterk kunnen verschillen tussen gebieden, zelfs in geval van metalen waarvan gedacht wordt dat ze intern gereguleerd worden (Cu en Zn). Het is daarbij duidelijk dat totaalgehalten van verontreinigingen in de bodem niet eenduidig zijn in het voorspellen van de eventuele risico's die deze verontreinigingen met zich meebrengen. In geval van Cd is het verschil in accumulatie van bodem naar bosmuis ongeveer 25. Dit houdt in dat de accumulatie van verontreinigingen ook van andere zaken dan de stof specifieke eigenschappen afhankelijk is. In de volgende paragrafen zal worden beschouwd of de verschillen in bodemkarakteristieken tussen de gebieden kunnen helpen bij het verklaren van de verschillen in accumulatiepatronen. Allereerst zal de data op een specifiekere manier beschouwd worden, op het detailniveau van de verschillende vangstlocaties en transecten binnen de gebieden. Op basis van de individuele concentraties zullen de relaties tussen de bodemconcentraties, bodemkarakteristieken en nierconcentraties geanalyseerd worden. Dit geeft een gedetailleerder beeld van de relaties tussen concentraties in de bodem, dieet en bosmuizen (zie appendix 1). In tabel 11 staan de resultaten van regressieanalyses, waarbij verschillende bodemkarakteristieken van een transect zijn gebruikt om de concentraties in de nieren van

de bosmuizen op dat transect te verklaren, let op de aangepaste significantieniveaus. Variatie in de nierconcentraties van As, Cd en Cu kunnen verklaard worden uit verschillende bodemkarakteristieken als bodemconcentratie en pH en organische stofgehalte in de bodem. Opvallend is hierbij dat de bijdrage van bodemconcentraties aan de verklaring alleen in geval van Cd significant is, terwijl in alle drie de gevallen pH en organisch stofgehalte zijn zeer significant in het verklaren van de doorvergiftiging van deze zware metalen naar bosmuizen. Voor Ni, Pb en Zn zijn geen relaties aantoonbaar gebleken.

Tabel 11. Resultaten van multiple regressie analyses met metaal concentraties in de individuele bosmuizen als afhankelijk variabele en leeftijd, bodemconcentraties, pH en Os als verklarende variabelen (concentraties loggetransformeerd; * $0.10 < p < 0.05$, ** $0.01 < p < 0.05$, *** $0.001 < p < 0.01$, **** $p < 0.001$, n.s. niet significant, alleen data bosmuizen, voor details zie bijlage 1. De resultaten zijn conditioneel, dit wil zeggen dat de effecten van verklarende variabelen significant zijn op voorwaarde dat de voorgaande variabele in het model zit.

	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Leeftijd	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Bodem concentratie	n.s.	**** (+)	* (+)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Bodem pH	* (-)	**** (-)	n.s.	*** (-)	n.s.	n.s.	n.s.
Bodem OS	* (+)	* (-)	n.s.	*** (+)	n.s.	n.s.	n.s.
Significantie regressie	***	****	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.
Verklaarde variantie	36.6%	63.8%	5.2%	33.9%	0.0%	0.0%	3.2%

De regressie analyses op basis van de gedetailleerde gegevens (tabel 11), geven aan dat de bodemkarakteristieken bij enkele metalen zeer belangrijk zijn in het (mede) verklaren van de variatie in de nierconcentraties van de verschillende zware metalen. Over het algemeen lijkt de pH meer te verklaren van de variatie van de nierconcentraties As, Cd en Cu dan de bodemconcentraties van de desbetreffende metalen. De individuele effecten van pH en OS zijn echter niet geheel uit elkaar te halen omdat deze twee variabelen in de huidige dataset gerelateerd aan elkaar zijn

3.5 Modellerexercitie cadmium accumulatie in bosmuizen

De concentraties van de zware metalen in de nier van bosmuizen uit Heteren en De Plateaux kunnen niet geheel verklaard worden uit de bodemconcentraties (zie figuur 1). In deze paragraaf zullen modelberekeningen gepresenteerd worden waarin geïllustreerd wordt dat wanneer de bodemkarakteristieken in de analyse betrokken worden de variatie tussen de individuele concentraties in de nieren beter verklaarbaar wordt. Allereerst zal een berekening op basis van de gebiedsgemiddelden gepresenteerd worden, waarna de analyse per transect of locatie wordt uitgevoerd.

Het model dat hierbij gebruikt wordt is een generiek model wat uitgaat van opname van de TDI (ug/dag), en eliminatie van een deel van de in het lichaam aanwezige stoffen. Het model is weergegeven in vgl. 3.

$$[C_p] = \frac{TDI \cdot c_{up}}{c_{out}} \cdot \frac{(1 - e^{-c_{out} \cdot t_v})}{\text{gewicht}_p} \quad \text{vgl. 3. (mg/kg vers gewicht, Cormont et al 2006)}$$

vgl. 3.

Hierin is C_p de concentratie van stof C in de predator (mg/kg vers gewicht), c_{up} is de opname efficiëntie van de stof uit het maag-darm kanaal (%), c_{out} de excretie constante, oftewel het deel van de in het lichaam aanwezige verontreiniging dat per dag wordt uitgescheiden(%), t de leeftijd van het dier (dag), en $gewicht_p$ het gewicht van de predator (g). Hierbij wordt aangenomen dat de verontreiniging zich evenredig verdeelt over het lichaam, als dit niet het geval is dan kan er een factor per specifiek orgaan toegevoegd worden.

In de literatuur zijn verschillende c_{up} en c_{out} te vinden, in een eerdere studie zijn generieke waarden hiervoor gebruikt van respectievelijk 0.5 en 0.35 % voor Cd voor Cd-opname door de steenuil (Cormont et al. 2006).

In dit rapport worden concentraties voor Cd doorgerekend naar de nier, omdat dit het belangrijkste doelorgaan is waar Cd wordt opgeslagen en mogelijke effecten kan hebben. De generieke vergelijking 3 wordt hiervoor omgezet in de volgende:

$$[Cd_n] = 80\% \cdot \frac{gewicht_n \cdot 2}{(gewicht_l + gewicht_n \cdot 2)} \cdot \frac{TDI \cdot c_{up} \cdot (1 - e^{-c_{out} \cdot t_v})}{c_{out} \cdot gewicht_n} / 0.28 \quad \text{vgl. 4}$$

Dit is gebaseerd op de volgende generieke aannames:

1. 80% van de opgenomen hoeveelheid aan Cd wordt in de lever en nier opgeslagen (Scheuhammer, 1987)
2. de ratio tussen de concentraties in de nier en lever is 2 (Scheuhammer 1988)
3. het percentage droge stof van de nier bedraagt 28%.
4. het gewicht van de lever en nier (beide vers) is soortspecifiek, voor de bosmuis respectievelijk 0.96 en 0.23 g (data huidige studie)

In vgl. 4 wordt op basis van een TDI de concentratie van Cd in de nier gemiddeld. De TDI kan worden berekend op basis van de samenstelling van het dieet, en van de concentraties in de verschillende dieet items. Voor de bosmuis is redelijk veel bekend voor wat betreft de voedselkeuze. Watts (1968) presenteert een seizoensafhankelijk dieet van bosmuizen in graslanden in naaldbossen in Engeland: in de maanden mei t/m juli eet de bosmuis met name vegetatie, zaden en insecten (resp. 9, 33 en 58%), waaronder een zeer klein percentage wormen, en van juli tot mei vegetatie, fruit, zaden en insecten met nauwelijks wormen (resp. 6, 7, 86, en 1%) (Watts, 1968). Totaal eten ze 0.2 g/g lichaamsgewicht (Toal 2001) wat neerkomt op gemiddeld ongeveer 4 g. In tabel 12 staat het aangenomen dieet, wat hiervan is afgeleid. Er zijn op dit moment nog geen goede vergelijkingen voorhanden om op basis van bodemconcentraties en -karakteristieken voor verschillende insectensoorten de opname van cadmium te modelleren. Dit is met name van belang in de relatief korte periode mei t/m juli, maar over het algemeen zijn metaalconcentraties in insecten die bosmuizen eten, zoals rupsen en keverlarven maar ook andere geleedpotigen als pissebedden, lager dan bijvoorbeeld die in regenwormen worden gevonden. In de berekeningen is het aandeel zaden in de periode mei t/m juli vergroot met het deel insecten dat niet is meegenomen. In de periode mei t/m juli is een klein deel regenwormen in het dieet opgenomen: 0.1 g/dag, in de rest van het jaar is dit op minder gesteld: 0.01 g/dag (cf. Watts 1968)

Tabel 12. Dieetsamenstelling van bosmuizen aangenomen voor de modelberekeningen (g/dag).

	mei t/m juli	juli tot mei
gras	0.9	0.2
zaad	3	3.6
worm	0.1	0.01
fruit	0	0.2

De concentraties in de dieetitems zijn berekend op basis van de gemiddelde gemeten bodemconcentraties en –karakteristieken van De Plateaux en Heteren (tabel 2). Hierbij is gras als representatief genomen voor vegetatie, en zijn de Cd-concentraties in het zaad en fruit als respectievelijk 33% en 25% van die in de vegetatie genomen (op basis van drooggewicht, zie tabel 13). Ze zijn met item specifieke ratio's tussen nat- en drooggewicht omgerekend tot concentraties op versgewicht. In de tabel is te zien dat gras een lagere Cd-concentratie laat zien dan de kruiden als boterbloem en zuring. Dit is kenmerkend voor het verschil tussen monocotylen en dicotylen, de eerste zijn minder efficiënt in de opname van met name Cd, maar ook Zn. In de berekeningen worden de bosmuizen geboren op 17 april, en worden ze gevangen op 30 september (leeftijd 167 dagen). Vanaf 1 mei tot 31 juli consumeren ze het mei/juli dieet, de rest van de periode juli/mei dieet).

Tabel 13. Geometrische gemiddelden van metaal concentraties in verschillende vegetatie types in De Plateaux (mg/kg, drooggewicht), en specifieke ratio's droog/versgewicht (g/g).

	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn	Droog/vers
Bes	0.11	4.48	0.37	0.44	31.74	0.15
Gras	0.42	6.02	0.99	1.37	95.64	0.11
Kruiden	1.78	8.59	1.20	1.75	231.01	-
Zaad	0.15	7.97	2.29	0.56	61.20	0.45

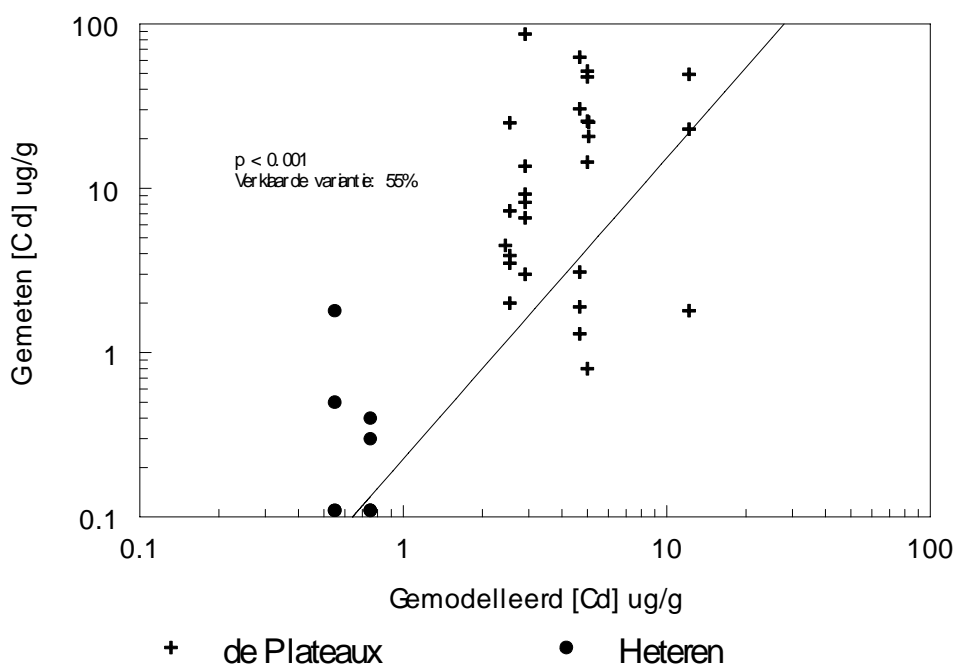
In tabel 14 staan de modelresultaten, met daarbij de geometrische gemiddelden van de gemeten concentraties. Af te lezen valt dat de het verschil tussen de gebieden op de goede manier wordt gemodelleerd: de berekende concentraties in Heteren zijn lager dan in De Plateaux, echter het gemodelleerde verschil is kleiner dan hetgeen gemeten is. De concentratie in Heteren wordt aan de hoge kant berekend, het verschil ongeveer 1.5 mg/kg, terwijl die in De Plateaux te laag wordt berekend, dit verschil is ongeveer 7 mg/kg.

Tabel 14. Geometrische gemiddelden van de gemeten concentraties Cd in nieren van bosmuizen uit Heteren en De Plateaux, en gemodelleerde waarden (mg/kg droge stof), op basis van de gemiddelde bodemconcentraties in de twee gebieden, het dieet op basis van gras, zaden en wormen (tabel 4), en de vergelijkingen 1 t/m 4.

	Model	Meting (gemiddelde)
Heteren	1.9	0.4 (n=9)
Plateaux	12.5	19.7 (n=16)

Wanneer de modellen worden toegepast op de bodemconcentraties en –karakteristieken van de individuele transecten in Heteren, en locaties in De Plateaux, dan kunnen de resulterende uitkomsten worden uitgezet tegen de gemeten waarden van bosmuizen gevangen op de individuele locaties (figuur 2). In deze figuur is te zien dat er een significante relatie is tussen de gemodelleerde en gemeten

concentraties. Te zien valt echter ook dat de verklaring van de variantie met name toe te wijzen valt aan de verschillen tussen de gebieden, en dat er nog veel binnen-gebied variantie onverklaard is. Dit kan liggen aan verschillende (ecologische) factoren als dieetkeuze van individuele bosmuizen, ruimtegebruik, leeftijd etc. Deze variatie is in de modellen te brengen op basis van probabilistische modellen, echter die zijn nog niet ontwikkeld binnen dit project. Wat geconcludeerd kan worden is dat de modelberekeningen laten zien dat: 1) bodemkarakteristieken van belang zijn om concentraties in kleine zoogdieren te verklaren, en 2) de hier ontwikkelde modellen toepasbaar lijken om concentraties in kleine zoogdieren te berekenen. Hierbij dient echter nog veel aandacht te gaan naar het dieet van de kleine zoogdieren, en naar verdere ontwikkeling van toepasbare modellen om de concentraties in de verschillende dieetitems te berekenen (ongewervelden, zaden en bessen). Daarnaast zouden de modellen voor meerdere verontreinigingstypen moeten worden geparametriseerd.



Figuur 2. Gemeten en gemodelleerde Cd-concentraties in nieren van bosmuizen van specifieke transecten binnen de uiterwaard in Heteren, en locaties in De Plateaux op basis van locatiespecifieke bodemconcentraties en –karakteristieken. Aannames voor wat betreft dieet etc. zijn vergelijkbaar als voor de berekeningen van tabel 6.

3.6 Modelleerexercitie cadmium accumulatie in een predator: steenuil

Bosmuizen zijn over het algemeen herbivoor, met een redelijk klein aandeel van dierlijke prooien. Cadmium accumuleert slechts in beperkte mate in planten, en daarmee zijn de concentraties in de bosmuis niet zo hoog dat risico's op effecten te verwachten zijn. Regenwormen accumuleren cadmium, en andere metalen, beter en voor een inschatting van de mogelijke effecten van veranderingen van bodemkarakteristieken op de risico's die de blootstelling aan zware metalen met zich mee

kunnen brengen, is het beter een predator te modelleren met een voedselweb waar regenwormen een belangrijk deel van uitmaken. De steenuil (*Athene noctua*) is een uil met een groot aandeel van regenwormen in het voedselpakket (Van den Brink et al. 2001). Deze uil foerageert direct op regenwormen, maar ook vermivore spitsmuizen maken een (klein) deel uit van het dieet. In de volgende paragrafen zullen modelberekeningen gepresenteerd worden die zijn uitgevoerd op basis van de gemiddelde bodemconcentraties en –karakteristieken van de twee gebieden. Voor wat betreft de situatie in Heteren zullen de modeluitkomsten vergeleken worden met waarnemingen die aan steenuilen zijn gedaan in andere uiterwaarden van de Waal, waar vergelijkbare bodemconcentraties en –karakteristieken gevonden worden (Van den Brink et al. 2001).

Dieet

Zoals gesteld heeft de steenuil een dieet waar regenwormen een belangrijk onderdeel van uitmaken. Daarnaast foerageert deze soort op een heel breed spectrum aan soorten, een groot deel bestaat uit woel- en veldmuizen, (loop-)kevers, en –larven, libellen en andere insecten maar ook kleinere vogels. In kleinere mate worden ook spitsmuizen en slakken geconsumeerd. In de berekeningen zoals hier gepresenteerd wordt uitgegaan van een dieet zoals voorgesteld voor de afleiding van de bodemnormen van cadmium (Jongbloed et al. 1994): woelmuis: 70 g/dag, regenwormen: 35 g/dag en spitsmuis: 5 g/dag. Dit is een sterk vereenvoudigd voedselweb, echter woelmuizen hebben vergelijkbare concentraties zware metalen als veldmuizen en bosmuizen (tabel 2), die ook een groot deel van het dieet uitmaken. (Loop-)kevers hebben over het algemeen lagere concentraties aan zware metalen, en ook al kunnen deze soorten (periodiek) een groot deel van het dieet uitmaken hun bijdrage aan de totale blootstelling is mogelijk gering. De leeftijd van de uil waarop de concentraties zijn berekend is gesteld op 4 jaar.

Het dieet van de spitsmuis is afgeleid van hetgeen bekend is van de bosspitsmuis: 6 g voedsel per dag (1.2 g zaden, 4.8 g worm (Churchfield 1990)), terwijl de woelmuis ongeveer 4.2 g per dag eet en vegetariër is (2 g gras, 2 g zaden, 0.2 g bessen). Het dieet is hetzelfde door het jaar heen en de aangenomen leeftijd van de kleine zoogdieren is 200 dagen.

Accumulatie parameters

In dit voorbeeld zullen berekeningen voor cadmium worden gepresenteerd. De concentraties in de vegetatie, zaden en bessen (het dieet van de woelmuis) worden vergelijkbaar gemodelleerd als in het voorbeeld van de bosmuis, op basis van vgl. 1 en 2 met de parameters uit tabellen 5, 8 en 12 voor respectievelijk de accumulatie in gras, regenwormen en de omrekening van grasconcentraties naar concentraties in zaden en bessen. Vergelijking 3 is gebruikt om de totale hoeveelheid te schatten van cadmium in de kleine zoogdieren. Deze hoeft niet te worden omgerekend naar een orgaanspecifieke concentratie omdat de steenuil alle zachte delen van de prooien verteert, in tabel 15 worden nierconcentraties gepresenteerd om ze met velddata te kunnen vergelijken. Bij de berekeningen wordt uitgegaan van een c_{up} van 0.5% en een c_{out} van 0.35%/dag.

3.6.1 Modeluitkomsten

Dieetitems

In tabel 15 staan de bodemconcentraties en –karakteristieken zoals gebruikt in de berekeningen, samen met de uitkomsten van de berekeningen, en voor zover voorhanden ook met gemeten data uit de verschillende gebieden. De concentraties in de vegetatie uit De Plateaux kunnen op basis van de modellen goed voorspeld worden. De gras concentraties in Heteren worden wat lager gemodelleerd. De concentraties in de wormen worden in beide gebieden in de goede grootteorde berekend, al is het in De Plateaux wat hoger en in Heteren wat lager dan de gemeten waarden. De concentraties in de woelmuis en de spitsmuis worden minder goed gemodelleerd. De berekende concentraties in de woelmuizen uit Heteren zijn lager dan de gemeten waarden, 0.3 versus 13 mg/kg, terwijl voor woelmuizen in De Plateaux geen gegevens voorhanden zijn. Vergeleken met een andere vegetarische soort als de veldmuis ligt de gemodelleerde concentratie in Heteren wel in de goed ([Cd]veldmuis: 0.27 mg/kg, tabel 10), en het lijkt er daarmee op dat de gemeten concentraties in de woelmuizen in Heteren onverwacht hoog zijn. Het aantal waarnemingen is relatief laag, maar het kan ook zo zijn dat woelmuizen minder vegetarisch zijn dan wordt aangenomen, vergelijkbaar met de bosmuis. Desalniettemin is doorgemodelleerd naar de steenuil op basis van de berekende waarden. Voor de spitsmuizen worden in Heteren de concentraties goed doorgerekend, model: 36 mg/kg versus 31 mg/kg als gemeten waarde. De nierconcentraties in De Plateaux worden echter erg slecht gemodelleerd, 267 versus 7 mg/kg (bosspitsmuis). Hiervoor is geen verklaring, de verwachting was dat de gemeten waarden in De Plateaux hoger zouden zijn dan in de spitsmuizen uit Heteren, vergelijkbaar als hetgeen gevonden is voor de bosmuizen. Ook hiervoor geldt dat de aantallen wat laag zijn, en dat er mogelijk een leeftijdeffect speelt. Ook in geval van de spitsmuizen wordt doorgemodelleerd op basis van de berekende waarden.

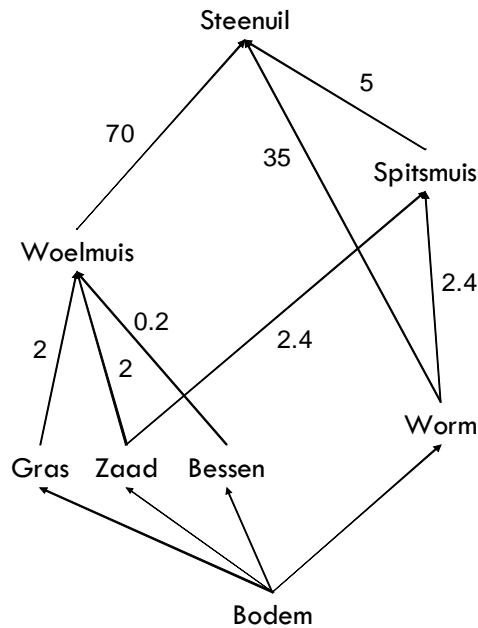
Tabel 15 Gemodelleerde concentraties in verschillende dieetitems van de steenuil voor 2 gebieden, De Plateaux en uiterwaarden van de Neder-Rijn nabij Heteren op basis van vergelijkingen 1 t/m 4. De concentraties in de vegetatie en wormen zijn op basis van versgewicht, die in de kleine zoogdieren en uilen op basis van drooggewicht, zodat ze beter vergeleken kunnen worden met literatuur. Voor aangenomen voedselweb zie figuur 3.

Gebied	[Cdsoil]	pH	[OS]	[Cdgras]	[Cdzaad]	[Cdbes]	[Cdworm]	[Cdwoel]	[Cdspits]	[Cduil]	TDI_uil
				Vers	Vers	Vers	Vers	Droog	Droog	Droog	ug/dag
Plateaux, model	2.23	4.6	4.5	0.044	0.061	0.015	11.74	0.72	267	247	424
Plateaux, meting	2.23	4.6	4.5	0.055	0.069	0.016	7.78	-	7.0	-	-
Heteren, model	1.23	7.1	8.6	0.014	0.019	0.005	1.59	0.26	36.1	34	57
Heteren, meting	1.23	7.1	8.6	0.047	-	-	2.45	12.9	30.7	-	-
Gelderse Poort (meting, leeftijd ± 80 dagen)							2.49		3.59	3.2	
Heteren model, leeftijd 80 dagen										8.3	
Referentie waarden ADI											97-225

Steenuil

Het voedselweb waarmee de steenuil is gemodelleerd staat weergegeven in figuur 3, met de daarbij behorende voedselopnames in g/dag.

Wanneer dit wordt gecombineerd met de concentraties uit tabel 15 dan worden de volgende concentraties berekend in nieren in uilen van 4 jaar, De Plateaux 247 mg/kg drooggewicht en in Heteren 34 mg/kg drooggewicht. De berekende TDIs zijn respectievelijk 424 en 57 ug/dag.



Figuur 3. Aangenomen voedselweb van steenuilen. Getallen geven de voedselopname weer (g/dag).

Voor de Gelderse Poort zijn gegevens bekend van concentraties in nieren van jonge steenuilen (ongeveer 80 dagen oud (Van den Brink et al. 2001). Daarin werd ongeveer 3.2 mg/kg cadmium gevonden. De Gelderse Poort is een uiterwaard van de Rijn, en de gegevens kunnen dus vergeleken worden met de modelberekening voor de steenuilen uit Heteren. De modeluitkomst is wat hoger (8.3mg/kg d.s.), maar in dezelfde grootteorde als hetgeen gemeten is in de Gelderse Poort. (3.2 mg/kg d.s.) In de Gelderse Poort waren de concentraties in de bodem iets lager dan in Heteren (2.0 versus 2.2 mg/kg), en mogelijk dat de pH en OS ook wat anders zijn, deze zijn echter niet gemeten in die studie. In de Afferdensche en Deetschen Waarden, een uiterwaard van de Waal zijn pH waarden gevonden van 7.4 (Wijnhoven 2007). Dergelijk verschillen zouden resulteren in een iets andere gemodelleerde concentratie, evenals de mogelijkheid dat jonge uilen mogelijk een ander voedselspectrum eten als ze erg jong zijn dan hier is aangenomen. De verschillen in Cd concentraties in de nieren van de uilen tussen De Plateaux en Heteren zijn aanzienlijk, ongeveer een factor 7.3. Dit kan niet alleen verklaard worden uit de relatief kleine verschillen in de concentraties tussen de gebieden. De berekende TDI voor De Plateaux ligt boven bekende effectgrenzen uit de literatuur die variëren van ongeveer 97 tot 150 ug/dag (Pascoe et al. 1996). Naast de literatuur zijn ook ADIs

bepaald op basis van het feit dat nierschade optreed bij ongeveer 100 mg/kg drooggewicht (Scheuhammer, 1987). Een effectgrens kan worden gesteld bij het optreden van nierschade bij de leeftijd van 4 jaar, ($ADI_{nierschade}$), of bij het optreden ervan na 1 jaar, waarbij de aanname is dat dit resulteert in een verminderd broedsucces van de desbetreffende vogel ($ADI_{populatieeffect}$). De berekende $ADI_{nierschade}$ is ongeveer 160 ug/dag, de $ADI_{populatieeffect}$ ongeveer 225 ug/dag. De TDI van de steenuil uit Heteren ligt onder al deze effectgrenzen, die van De Plateaux er ruim boven.

Om nu te zien wat het effect van de verschillende bodemkarakteristieken uit de twee gebieden is op de TDI zijn 8 scenario's opgesteld:

1. alle gegeven uit Heteren
2. Bodemconcentratie en pH Heteren, [OS] Plateaux
3. Bodemconcentratie en [OS] Heteren, pH Plateaux
4. Bodemconcentratie Heteren, pH en [OS] Plateaux
5. bodemconcentratie Plateaux, [OS] en pH Heteren
6. bodemconcentratie en [OS] Plateaux, pH Heteren
7. bodemconcentratie en pH Plateaux, [OS] Heteren
8. alle gegevens Plateaux.

In tabel 16 staan de berekende concentraties in de steenuil voor de verschillende scenario's.

Tabel 16. Resultaten van modelberekeningen (vgl. 1 t/m 4), op basis van de 8 scenario's. Input data in italics zijn de gemiddelde waarden van de uiterwaarden nabij Heteren, de vetgedrukte de gemiddelde waarden van De Plateaux.

Scenario	Cd soil mg/kg d.s.	[OS] %	pH	[Cduil] mg/kg d.s.
1	<i>1.23</i>	<i>8.6</i>	<i>7.1</i>	34
2	<i>1.23</i>	4.5	<i>7.1</i>	47
3	<i>1.23</i>	<i>8.6</i>	4.6	112
4	<i>1.23</i>	4.5	4.6	158
5	2.23	<i>8.6</i>	<i>7.1</i>	52
6	2.23	4.5	<i>7.1</i>	74
7	2.23	<i>8.6</i>	4.6	175
8	2.23	4.5	4.6	247

Uit deze tabel valt te berekenen wat de relatieve bijdrages van de veranderingen in bodemconcentratie, [OS] en pH zijn aan het totale verschil dat tussen de gebieden gemodelleerd is. De bijdrage van de concentratieverandering van 1.23 naar 2.23 mg/kg is ongeveer 25%, van de afname van [OS] van 8.6 naar 4.5% ongeveer 22% en de verlaging van de pH van 7.1 naar 4.6 ongeveer 53%. Deze relatieve bijdrages variëren wat tussen de scenario's, maar duidelijk is dat het verschil in pH het grootste aandeel heeft. Als in De Plateaux de pH en [OS] van Heteren worden toegepast (scenario 8 naar scenario 5) wordt geen effect grens meer overschreden (verandering van 247 naar 52 mg/kg), terwijl alleen een verandering van pH in Heteren (scenario 1 naar scenario 3) al tot een overschrijding van de literatuur effect grenzen zou leiden, en bijna tot een overschrijding van de $ADI_{nierschade}$ (verandering van 34 naar 112

mg/kg d.s.). Het hier toegepaste verschil in pH is redelijk groot, 2.5 eenheden. Dit is echter waargenomen in gebieden waar het beheer veranderd is, bijvoorbeeld bij de omzetting van landbouwgronden naar eikenbossen in Sellinge (zie van den Brink et al 2007) De modelberekeningen illustreren dat veranderingen in bodemeigenschappen kunnen leiden tot veranderingen van de risico's van blootstelling aan verontreinigingen voor predatoren.

4 Conclusies

Op basis van het onderzoek beschreven in dit rapport kunnen de volgende conclusies getrokken worden

- Bodemeigenschappen als pH en organisch stofgehaltes kunnen de accumulatie van metalen naar hogere fauna sterk beïnvloeden.
- Inrichting en beheersmaatregelen kunnen risico's van verontreinigingen voor hogere organismen beïnvloeden zonder dat de bodemconcentraties van deze verontreinigingen veranderen.
- Modellen kunnen, mits voorzien van goede parameters, behulpzaam zijn bij het voorspellen van opname van zware metalen in voedselketens.

Ad. 1. Bodemeigenschappen als pH en organisch stofgehaltes kunnen de accumulatie van metalen naar hogere fauna sterk beïnvloeden.

Concentraties cadmium in nieren van bosmuizen uit De Plateaux waren hoger dan in bosmuizen uit een uiterwaard nabij Heteren, terwijl de bodemconcentraties niet erg verschilden. Deze veldgegevens tonen aan dat de biobeschikbaarheid van verontreinigingen zeer bepalend kan zijn voor de accumulatiepatronen van verontreinigingen in voedselketens. Deze beschikbaarheid is mede afhankelijk van bodemeigenschappen als pH en organisch stofgehalte, en deze bodemeigenschappen hebben daarmee direct een effect op de blootstelling van hogere organismen aan verontreinigingen.

Ad. 2 Inrichting en beheersmaatregelen kunnen risico's van verontreinigingen voor hogere organismen beïnvloeden zonder dat de bodemconcentraties van deze verontreinigingen veranderen.

Inrichting- en beheersmaatregelen kunnen een groot effect hebben op bodemeigenschappen als pH en organisch stofgehalte. Op deze manier kan de beschikbaarheid van metalen, en de daarmee samenhangende risico's, voor hogere organismen beïnvloed worden door dergelijke maatregelen. Het is daarmee zeer aannemelijk dat beheerders van natuurgebieden (ongewild) de risico's van eventuele verontreinigingen in het gebied voor hogere organismen

Ad. 3. Modellen kunnen, mits voorzien van goede parameters, behulpzaam zijn bij het voorspellen van opname van zware metalen in voedselketens.

Met de gepresenteerde accumulatiemodellen op basis van een TDI-benadering, zijn de verschillen in concentratie in de nieren van bosmuis tussen de twee gebieden goed verklaarbaar op basis van bodemconcentraties, bodemkarakteristieken, en dietsamenstelling.

De modelberekeningen van het voedselweb van de steenuil laten zien dat de resultaten van de modellering van de cadmium concentraties in gewas in dezelfde grootteorde liggen als de metingen. De relatief kleine verschillen tussen modeluitkomsten van gewas uit De Plateaux en Heteren zijn echter niet teruggevonden in de metingen. De modelberekeningen van de cadmiumconcentraties in de regenwormen

zijn vergelijkbaar met hetgeen gemeten wordt. Dit geldt ook voor koper, lood en zink. De verschillen tussen de gemodelleerde resultaten tussen de gebieden zijn ook in de gemeten waarden waarneembaar voor cadmium, lood en zink, maar in mindere mate voor koper. De verschillen in de concentraties van cadmium in de nieren van spitsmuizen van de verschillende gebieden zijn niet significant gebleken, de aantallen monsters zijn te laag. De gemeten concentraties in de nieren van rosse woelmuizen uit Heteren zijn hoger dan de gemodelleerde waarden. Mogelijk dat rosse woelmuizen minder vegetarisch zijn dan gedacht, en toch een klein deel aan wormen of andere insecten eten die hogere concentraties bevatten.

De gemodelleerde concentraties cadmium in nieren van jonge uilen op basis van de gegevens in Heteren, zijn vergelijkbaar met gemeten waarden in een jonge uil uit een uiterwaard in de Gelderse Poort, bij de Waal. Wanneer de concentraties in nieren van adulte vogels worden gemodelleerd zijn er aanzienlijke verschillen tussen de situatie in De Plateaux en Heteren. De risico's zijn hoger voor vogels van De Plateaux, hier overschrijden de gemodelleerde concentraties alle afgeleide effectgrenzen terwijl dit in Heteren niet het geval is. Wanneer gekeken wordt naar de bijdrage van de individuele factoren blijkt dat de verandering in pH het grootste effect heeft, daarna de verschillen in bodemconcentraties en in zeer minieme mate het verschil in OS.

De resultaten van dit onderzoek laten zien dat bodemkarakteristieken als pH en in mindere mate organisch stofgehalte van groot belang zijn voor de accumulatie van cadmium in terrestrische voedselketens. Voor andere metalen en verontreinigingen zullen dit mogelijk andere karakteristieken zijn, bijvoorbeeld het organisch stofgehalte voor organische microverontreinigingen. Het is daarmee van belang factoren die de beschikbaarheid van verontreinigingen voor opname in voedselketens bepalen mee te nemen in het schatten van risico's van deze verontreinigingen. Dit is met name van toepassing in geval van locatiespecifieke risico's waarbij op een zo reëel mogelijk beeld de risico's geschat dienen te worden. De hier aangetoonde effecten zijn gebaseerd op verschillen in bodemkarakteristieken op basis van bodem type, klei versus zanderige veenbodem. Inrichting en beheer van gebieden kunnen echter ook effecten hebben op bodemkarakteristieken (Van den Brink et al 2007), en het is daarbij de verwachting dat beschikbaarheid van verontreinigingen kan variëren als gevolg van specifiek beheer. In een vervolg studie zal op basis van veldwaarnemingen getracht worden in te schatten wat de mogelijke effecten zijn van inrichting en beheersmaatregelen op de risico's van voedselweb accumulatie van verontreinigingen, met name zware metalen.

Literatuur

- Cormont A., Baveco, J.M. & van den Brink, N.W. 2006. Effects of spatial foraging behaviour on risks of contaminants for wildlife. Alterra rapport 1369.
- Churchfield, S., 1990. The natural history of shrews. A & C Black publishers. Bromly, UK.
- Jongbloed, R.H., Pijnenburg, J., Mensink, B.J.W.G., Traas, T.P., Luttik, R., 1994. A model for environmental risk assessment and standard setting based on biomagnification. Top predators in terrestrial ecosystems. RIVM rapport 719101012.
- Kemmers, R. & van Delft, S., 2003. Bodemkundige aspecten van bevloeiing als herstelmaatregel voor verzuurde beekdalgraslanden in De Plateaux en Zijdebrug. Alterra rapport 585. Alterra Wageningen.
- Ma, W., 2004. Estimating heavy metal accumulation in oligochaete earthworms: A meta-analysis of field data. Bulletin of environmental contamination and toxicology 72: 663-670
- Pascoe, G.A., Blanchet, R.J., & Linder, G., 1996 Food chain analysis of exposures and risks to wildlife at a metals-contaminated wetland. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 30, 306-318.
- Römkens, P.F.A.M., R.P.J.J. Rietra, en F.P. Sival, 2006. Cadmium in bodem en gras in het natuurgebied in en nabij de Malpiebeemden. Onderzoek naar de kwaliteit van veevoer in relatie tot gezondheidsrisico's voor grazers. Alterra rapport 1299, Alterra, Wageningen UR, Nederland.
- Scheuhammer, 1987. The chronic toxicity of aluminium, cadmium, mercury and lead in birds: A review. Environmental Pollution 46 263-295.
- Scheuhammer, 1988 The dose-dependent deposition of cadmium into organs of japanese quail following oral administration. Toxicology and applied pharmacology 95: 153-161
- Toal, M. E.; Copplestone, D.; Johnson, M. S.; Jackson, D.; Jones, S. R., 2001. A dynamic compartmental food chain model of radiocaesium transfer to *Apodemus sylvaticus* in woodland ecosystems. Science of the Total Environment 267, 53-65.
- Van den Brink, N, Bonten, L., Römkens, P., van der Pol, J., 2007. De invloed van veranderingen in bodemeigenschappen op de blootstelling van hogere organismen aan verontreiniging. Alterra rapport 1556. Alterra Wageningen.

Van den Brink, N.W., Groen, N.M., de Jonge, J., Wegener, J.W.M. & Bosveld A.T.C., 2001. Ecotoxicologisch onderzoek naar effecten van verontreinigingen in uiterwaarden op steenuilen (*Athene noctua*): een integratie. Alterra rapport

Watts, C. H. S., 1968. The foods eaten by wood mice (*Apodemus sylvaticus*) and bank voles (*Clethrionomys glareolus*) in Wytham Woods, Berkshire. *J. Animal Ecol.* 37, 25-41.

Wezel, A.P. van, W. de Vries, M. Beek, P.F.M. Otte, J.P.A., Lijzen, M. Mesman, P.L.A., van Vlaardingen, J. Tuinstra, M. van Elswijk, P.F.A.M. Römken, en L.T.C. Bonten, 2003. Bodemgebruikswaarden voor landbouw, natuur en waterbod. Technisch wetenschappelijke afleiding van getalswaarden. RIVM rapport 711701031/2003

Bijlage 1 Resultaten regressie-analyses tussen bodem en bosmuizen

Arseen

Afhankelijke variabele As dier

Gefitte variabelen: Constante, leeftijd, As bodem, pH bodem, OS bodem

Overzicht regressie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regressie	4	14.09	3.52	56.0	0.001
Residu	31	18.07	0.58		
Totaal	35	32.16	0.92		

Percentage verklaarde variantie 36.6%

Accumulatieve variantie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ leeftijd	1	0.22	0.22	0.38	0.542
+ As bodem	1	1.44	1.44	2.47	0.126
+ pH bodem	1	7.64	7.64	13.10	0.001
+ OS bodem	1	4.79	4.79	8.23	0.007
Residu	31	18.06	0.58		
Total	35	32.16	0.92		

Cadmium

Afhankelijke variabele Cd dier

Gefitte variabelen: Constante, leeftijd, Cd bodem, pH bodem, OS bodem

Overzicht regressie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regressie	4	21.23	5.30	16.45	<0.001
Residu	31	10.00	0.32		
Totaal	35	31.24	0.89		

Percentage verklaarde variantie 63.8%

Accumulatieve variantie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ leeftijd	1	0.65	0.65	2.02	0.165
+ Cd bodem	1	4.82	4.82	14.95	<0.001
+ pH bodem	1	14.44	14.44	44.75	<0.001
+ OS bodem	1	1.31	1.31	4.07	0.052
Residu	31	10.00	0.32		
Total	35	31.24	0.89		

Chroom

Afhankelijke variabele Cr dier

Gefitte variabelen: Constante, leeftijd, Cr bodem, pH bodem, OS bodem

Overzicht regressie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regressie	4	3.38	0.84	1.48	0.232
Residu	31	17.67	0.57		
Totaal	35	21.04	0.60		

Percentage verklaarde variantie 5.2%

Accumulatieve variantie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ leeftijd	1	0.18	0.18	0.31	0.582
+ Cr bodem	1	2.55	2.55	4.47	0.043
+ pH bodem	1	0.03	0.03	0.05	0.828
+ OS bodem	1	0.62	0.62	1.09	0.304
Residu	31	17.67	0.57		
Total	35	21.04	0.60		

Koper

Afhankelijke variabele Cu dier

Gefitte variabelen: Constante, leeftijd, Cu bodem, pH bodem, OS bodem

Overzicht regressie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regressie	4	8.69	2.17	5.49	0.002
Residu	31	12.27	0.40		
Totaal	35	20.96	0.60		

Percentage verklaarde variantie 33.9%

Accumulatieve variantie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ leeftijd	1	0.50	0.50	1.27	0.269
+ Cu bodem	1	0.12	0.12	0.31	0.580
+ pH bodem	1	4.12	4.12	10.43	0.003
+ OS bodem	1	3.93	3.93	9.94	0.004
Residu	31	12.27	0.40		
Total	35	20.96	0.60		

Nikkel

Afhankelijke variabele Ni dier

Gefitte variabelen: Constante, leeftijd, Ni bodem, pH bodem, OS bodem

Overzicht regressie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regressie	4	4.38	1.10	0.71	0.591
Residu	31	47.72	1.54		
Totaal	35	52.09	1.49		

Percentage verklaarde variantie 0%

Accumulatieve variantie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ leeftijd	1	0.96	0.96	0.62	0.437
+ Ni bodem	1	0.13	0.13	0.09	0.770
+ pH bodem	1	1.37	1.37	0.89	0.353
+ OS bodem	1	1.92	1.92	1.25	0.272
Residu	31	47.72	1.54		
Total	35	52.09	1.49		

Lood

Afhankelijke variabele Pb dier

Gefitte variabelen: Constante, leeftijd, Pb bodem, pH bodem, OS bodem

Overzicht regressie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regressie	4	1.77	0.44	0.80	0.535
Residu	31	17.22	0.56		
Totaal	35	18.99	0.54		

Percentage verklaarde variantie 0%

Accumulatieve variantie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ leeftijd	1	0.02	0.02	0.03	0.868
+ Pb bodem	1	0.02	0.02	0.03	0.868
+ pH bodem	1	0.01	0.01	0.03	0.872
+ OS bodem	1	1.73	1.73	3.11	0.088
Residu	31	17.22	0.56		
Total	35	18.99	0.54		

Zink

Afhankelijke variabele Zn dier

Gefitte variabelen: Constante, leeftijd, Zn bodem, pH bodem, OS bodem

Overzicht regressie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
Regressie	4	2.06	0.51	1.28	0.300
Residu	31	12.07	0.40		
Totaal	35	14.13	0.42		

Percentage verklaarde variantie 3.2%

Accumulatieve variantie analyse

	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ leeftijd	1	0.80	0.80	1.99	0.168
+ Zn bodem	1	0.13	0.13	0.32	0.576
+ pH bodem	1	1.09	1.09	2.72	0.110
+ OS bodem	1	0.03	0.03	0.08	0.775
Residu	31	12.07	0.40		
Total	35	14.13	0.42		

Bijlage 2 Bodemkarakteristieken en nierconcentraties in bosmuizen van specifieke transecten

Locatie	Transect	pH bodem	OS bodem	As bodem	Cd bodem	Cr bodem	Cu bodem	Ni bodem	Pb bodem	Zn bodem	As nier	Cd nier	Cr nier	Cu nier	Ni nier	Pb nier	Zn nier
Heteren	9	7.2	7.8	12.3	1.0	45.8	26.8	28.6	51.5	175.5	1.9	0.5	0.0	26.0	0.0	22.0	69.3
Heteren	9	7.2	7.8	12.3	1.0	45.8	26.8	28.6	51.5	175.5	0.1	1.8	13.3	0.1	4.6	0.8	70.9
Heteren	9	7.2	7.8	12.3	1.0	45.8	26.8	28.6	51.5	175.5	0.1	0.1	106.0	0.1	97.7	0.5	625.0
Heteren	9	7.2	7.8	12.3	1.0	45.8	26.8	28.6	51.5	175.5	0.1	0.1	4.7	0.1	0.3	9.1	0.1
Heteren	11	7.1	9.5	13.9	1.7	68.4	41.0	29.7	73.4	273.0	1.4	0.4	0.0	19.3	0.0	1.2	124.0
Heteren	11	7.1	9.5	13.9	1.7	68.4	41.0	29.7	73.4	273.0	1.9	0.1	13.2	364.0	8.4	6.9	88.7
Heteren	11	7.1	9.5	13.9	1.7	68.4	41.0	29.7	73.4	273.0	1.4	0.3	14.4	18.1	22.9	2.8	326.0
Heteren	11	7.1	9.5	13.9	1.7	68.4	41.0	29.7	73.4	273.0	4.4	0.1	4.7	20.5	1.4	0.7	21.3
Heteren	11	7.1	9.5	13.9	1.7	68.4	41.0	29.7	73.4	273.0	2.1	0.1	0.0	77.4	0.0	0.1	136.0
Plateaux	1	5.15	5.40	7.9	2.0	9.8	12.8	3.8	46.5	177.4	13.7	3.5	5.5	14.7	0.0	0.8	92.8
Plateaux	1	5.15	5.40	7.9	2.0	9.8	12.8	3.8	46.5	177.4	4.5	3.9	2.4	12.7	0.0	4.6	52.4
Plateaux	1	5.15	5.40	7.9	2.0	9.8	12.8	3.8	46.5	177.4	5.9	25.0	14.9	21.3	3.5	7.7	941.0
Plateaux	1	5.15	5.40	7.9	2.0	9.8	12.8	3.8	46.5	177.4	0.1	2.0	3.2	17.1	0.0	2.1	91.8
Plateaux	1	5.15	5.40	7.9	2.0	9.8	12.8	3.8	46.5	177.4	11.8	7.3	8.0	15.8	3.5	2.6	248.0
Plateaux	2	5.65	4.55	9.4	2.3	11.7	11.7	4.6	58.6	234.3	0.1	4.5	2.4	16.6	1.8	15.4	197.0
Plateaux	3	4.43	4.23	10.6	2.8	11.5	11.3	4.8	68.0	228.4	0.1	14.4	13.7	18.2	4.7	2.1	66.2
Plateaux	3	4.43	4.23	10.6	2.8	11.5	11.3	4.8	68.0	228.4	0.1	47.6	10.4	16.5	3.3	1.1	282.0
Plateaux	3	4.43	4.23	10.6	2.8	11.5	11.3	4.8	68.0	228.4	30.6	25.6	16.4	26.2	5.1	2.4	120.0
Plateaux	3	4.43	4.23	10.6	2.8	11.5	11.3	4.8	68.0	228.4	16.0	0.8	11.0	17.6	3.9	0.5	76.8
Plateaux	3	4.43	4.23	10.6	2.8	11.5	11.3	4.8	68.0	228.4	15.0	51.7	2.9	16.8	0.0	1.0	175.0
Plateaux	4	4.76	4.23	14.3	3.5	13.7	14.7	6.5	82.5	296.9	13.8	20.7	6.8	19.7	3.0	2.3	651.0
Plateaux	4	4.76	4.23	14.3	3.5	13.7	14.7	6.5	82.5	296.9	12.0	25.2	11.6	24.0	3.4	14.7	119.0
Plateaux	5	4.05	3.95	51.7	1.9	9.8	17.5	3.4	71.5	74.7	26.3	3.1	11.7	20.8	2.5	2.4	75.3
Plateaux	5	4.05	3.95	51.7	1.9	9.8	17.5	3.4	71.5	74.7	28.6	1.3	12.2	16.6	2.8	2.0	91.7
Plateaux	5	4.05	3.95	51.7	1.9	9.8	17.5	3.4	71.5	74.7	9.0	30.4	18.5	18.7	8.3	1.9	100.0
Plateaux	5	4.05	3.95	51.7	1.9	9.8	17.5	3.4	71.5	74.7	17.3	62.7	4.0	21.8	0.0	0.8	92.5

Locatie	Transect	pH bodem	OS bodem	As bodem	Cd bodem	Cr bodem	Cu bodem	Ni bodem	Pb bodem	Zn bodem	As nier	Cd nier	Cr nier	Cu nier	Ni nier	Pb nier	Zn nier
Plateaux	5	4.05	3.95	51.7	1.9	9.8	17.5	3.4	71.5	74.7	19.2	1.9	3.7	13.7	0.0	5.8	70.8
Plateaux	6	4.12	3.88	4.8	1.0	7.6	8.9	2.7	30.7	52.9	5.6	13.6	7.2	18.7	1.6	4.8	81.3
Plateaux	6	4.12	3.88	4.8	1.0	7.6	8.9	2.7	30.7	52.9	1.8	86.6	10.4	18.9	3.4	2.9	364.0
Plateaux	6	4.12	3.88	4.8	1.0	7.6	8.9	2.7	30.7	52.9	4.1	3.0	3.5	17.5	0.5	0.8	60.0
Plateaux	6	4.12	3.88	4.8	1.0	7.6	8.9	2.7	30.7	52.9	18.3	6.6	6.1	15.5	1.2	0.4	78.1
Plateaux	6	4.12	3.88	4.8	1.0	7.6	8.9	2.7	30.7	52.9	6.8	8.2	10.3	14.2	3.5	79.7	80.6
Plateaux	6	4.12	3.88	4.8	1.0	7.6	8.9	2.7	30.7	52.9	9.4	9.2	2.0	14.6	0.0	0.0	
Plateaux	8	5.16	6.10	19.6	4.6	18.1	25.7	9.9	146.9	469.7	1.2	49.4	0.3	18.4	0.3	0.5	122.0
Plateaux	8	5.16	6.10	19.6	4.6	18.1	25.7	9.9	146.9	469.7	28.4	1.8	7.5	16.8	0.9	0.3	57.4
Plateaux	8	5.16	6.10	19.6	4.6	18.1	25.7	9.9	146.9	469.7	13.4	22.9	4.9	18.0	1.1	6.8	111.0